

Ideas sobre una guía metodológica básica para la redacción de los anejos de Geología y Geotecnia de los TFT de las titulaciones de ingeniería civil.

A. LOMOSCHITZ, J. R. JIMÉNEZ,
M. A. FRANESQUI

Resumen: Los Trabajos Fin de Título (TFT) de las titulaciones de ingeniería civil, en su modalidad de “trabajos de carácter profesional directamente relacionados con los estudios cursados”, deben incluir anejos específicos de Geología y Geotecnia, cuya elaboración resulta en ocasiones compleja para los estudiantes: 1º) por el tiempo transcurrido entre los primeros cursos, cuando se imparten estas materias, y el final de los estudios; y 2º) por la necesidad de equipos especiales para el reconocimiento del terreno, que exceden sus posibilidades económicas.

A modo de directrices orientadoras para tutores y estudiantes, se han considerado cuatro tareas básicas que permitan elaborar y redactar estos anejos, de forma razonada y ordenada. Además, se propone un índice-guía que consta de ocho apartados. Por último, se pretende hacer partícipes a profesores y alumnos de ingeniería civil de estas ideas, de manera que con sucesivas mejoras, pueda constituir una guía metodológica.

Palabras Clave: TFT, Geología, Geotecnia, Proyectos de ingeniería, Ingeniería Civil.

Abstract. Final Degree Projects on Civil Engineering in Spain, in the case of “professional works directly related to the study program” need a proper chapter of Geology and Geotechnics, whose elaboration is sometimes complex for students, for two reasons: (1) there is a long period of time between the beginning of the studies, when these subjects are taken, and the last part of the degree; and (2) special machinery is needed for terrain drilling and testing, normally difficult to be available.

As a guideline for tutors and students four basic tasks are proposed to elaborate this chapter. Besides, the contents which are necessary consist of eight sections. Finally, our purpose is to show these ideas to Civil Engineering students and teachers in order to get a methodological guide in the future.

Keywords: Final Degree Project, Geology, Geotechnics, Engineering project, Civil Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

Las escuelas de ingenieros de España tienen una larga experiencia en trabajos fin de estudios, los tradicionales Proyectos Fin de Carrera (PFC). En general eran trabajos muy laboriosos, innovadores muchos de ellos, en los que se plasmaban todos los conocimientos y habilidades desarrolladas a lo largo de la carrera.

Con la adaptación de los estudios universitarios al EEES (Espacio Europeo de Educación Superior), la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales han sido reguladas mediante el Real Decreto 1393/2007 (Ministerio de Educación, 2007: 44037-44048) y su actualización en el Real Decreto 861/2010 (Ministerio de Educación, 2010: 58454-58468), que ha establecido que todas las enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa de un Trabajo Fin de Título (TFT) que ha de formar parte del plan de estudios y deberá estar orientado a la evaluación de las competencias asociadas al título.

2. LOS PFC Y LOS NUEVOS TFT

Las necesidades de adaptar los estudios de grado y máster en las escuelas de ingeniería a este nuevo marco universitario supone un gran reto para diseñar un nuevo escenario en el que dichos trabajos puedan ser realizados en un tiempo más limitado, generalmente durante el último semestre del plan de estudios, manteniendo unos estándares de calidad que deben ser exigibles.

En la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles (EIIC) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) se han elaborado y aprobado recientemente dos documentos que facilitan esta adaptación y cambio a los TFT:

- Reglamento para la Realización y Evaluación de Trabajos Fin de Título de la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la ULPGC (ULPGC-EIIC, 2013a: 18pp.).
- Guía Metodológica para el Trabajo de Fin de Título (ULPGC-EIIC, 2013b: 14pp.).

Definición: Se considera como Trabajo Fin de Título, a los efectos del citado Reglamento y de conformidad con los Estatutos de la ULPGC, la asignatura que consiste en el desarrollo de un trabajo en el ámbito disciplinario elegido, realizado por el estudiante universitario, bajo tutela académica.

Finalidad: La realización de un Trabajo Fin de Título tiene por objetivo elaborar un trabajo en el que el estudiante universitario desarrolle las competencias y los conocimientos adquiridos, teóricos y prácticos como culminación de sus estudios y como preparación para el desempeño futuro de actividades profesionales en el ámbito correspondiente a la titulación obtenida. La superación del Trabajo Fin de Título, en su caso, da paso al ejercicio profesional.

El contenido de cada TFT se corresponderá con el nivel formativo de su título y se deberá tener en cuenta el número de horas de trabajo del estudiante recogido en su memoria de verificación. El TFT deberá reflejar que el estudiante ha adquirido las competencias asociadas al título y tener algún tipo de vinculación con los módulos y materias de éste, así como las funciones y tareas propias de las profesiones para las que el título ha sido diseñado.

En el caso del Grado, el TFT debe ajustarse al nivel 2 del MECES (Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior) y, entre los cuatro tipos considerados, se señala el tipo c) “Trabajos de carácter profesional directamente relacionados con los estudios cursados”. Estos vienen a corresponder con los proyectos de ingeniería clásicos, cuyos contenidos deben seguir la estructura definida por la UNE 157001-2002 (AENOR, 2002:1-14) que incluyen: Índice general; Memoria; Anejos; Planos; Pliego de condiciones; Mediciones y Presupuesto. Así mismo han de ajustarse a la legislación general y/o local y a la normativa técnica actual en cada apartado y tipo de proyecto.

3. EL TERRENO EN EL GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Las asignaturas relativas a la Ingeniería del Terreno en los títulos de Grado en Ingeniería Civil, que se han implantado en las universidades españolas, se concentran en los primeros cursos con denominaciones diversas (Tabla 1). En primer lugar se imparte Geología y/o Geología Aplicada, en los cursos de 1º ó 2º, con 6 a 9 créditos ECTS. En segundo lugar se imparten asignaturas de Geotecnia, bajo denominaciones diversas: Geotecnia y Cimientos, Mecánica de Suelos, Mecánica de suelos y de rocas, etc., en los cursos de 2º y 3º, con 6 a 9 créditos ECTS. Y en tercer lugar, en ocasiones existen otras asignaturas relativas a la Ingeniería geológica, Ingeniería geotécnica y las obras geotécnicas, que se imparten en 3º y 4º curso, con 3, 4.5 ó 6 ECTS cada una. Estas últimas son asignaturas obligatorias para algunas menciones o bien son optativas.

Tabla 1. Asignaturas relativas a la Ingeniería del terreno de las titulaciones de Grado en Ingeniería Civil de seis escuelas españolas.

Universidad	Nombre asignatura	Curso	Cuatrimestre o Semestre	Créditos ECTS
Politécnica de Madrid-1 (ETSICCP)	Geología	2º	3º	4.5
	Geología aplicada a las obras públicas	2º	4º	4.5
	Mecánica de suelos y rocas	3º	5º	4.5
	Geotecnia	3º	6º	4.5
	Túneles y excavaciones subterráneas (mención c. Civiles)	4º	7º	3
	Hidrogeología (mención hidrología)	4º	7º	3
Politécnica de Madrid-2 (EITOP)	Geología, morfología del terreno y climatología	1º	2º	6
	Geotecnia y Mecánica del suelo	2º	3º	3
	Ingeniería geotécnica	3º	5º	6
Politécnica de Catalunya (ETSICCP)	Geología	1º	1º	6
	Mecánica de suelos	3º	3º	9
	Ingeniería geológica	4º	7º	4.5
	Ingeniería geotécnica	4º	8º	4.5
Politécnica de València (ETSICCP)	Geología aplicada a la IC	2º	2º	6
	Geotecnia y cimientos	3º	5º	6
	Técnicas y métodos de la Ingeniería del terreno	4º	7º	6
	Geomorfología aplicada a la IC (optativa)	4º	7º	4.5
	Ingeniería geológica (optativa)	4º	8º	4.5
Cantabria (ETSICCP)	Geología Aplicada	2º	3º	6
	Geotecnia	2º	4º	6
	Ampliación de Geotecnia (optativa)	4º	-	6
	Obras geotécnicas (optativa)	4º	-	6
Las Palmas de G.C. (EIIC)	Geología aplicada	1º	1º	6
	Geotecnia y Cimientos	2º	4º	7.5
	Edificación y obras geotécnicas.	4º	7º	6

4. ALCANCE DEL ESTUDIO DEL TERRENO PARA LOS TFT

El reconocimiento del terreno en los proyectos de ingeniería civil se efectúa en distintas fases que, en los Proyectos de la Dirección General de Carreteras, son los siguientes:

- Estudio previo (o de viabilidad).
- Estudio informativo.

- Proyecto de Trazado.
- Proyecto de Construcción.

Como norma general, los reconocimientos del terreno se realizan en fases de precisión creciente y el grado de detalle que se requiere depende del objetivo que se pretende (Ministerio de Fomento, 2003: 31-71).

Dadas las limitaciones de tiempo y de medios materiales propios de un TFT de un Grado en Ingeniería, la fase que podría alcanzarse sería la de un Estudio previo o, tal vez, la de un Estudio informativo de un proyecto real. No obstante, algunos apartados pueden llegar a profundizar o desarrollarse más. Tomando en consideración la Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003: 31-32); según la práctica habitual, el alcance del reconocimiento del terreno en los estudios informativos debe ser suficiente para definir los siguientes extremos:

- Delimitación de los macizos rocosos y formaciones geológicas a atravesar.
- Análisis general de la estabilidad de las laderas antes, durante y después de la obra.
- Localización de las formaciones que pudieran dar lugar a dificultades geotécnicas más o menos graves: suelos blandos, subálveos superficiales, marismas, terrenos cársticos, terrenos expansivos o colapsables, suelos salinos, agresivos, dispersivos, licuefactables, etc.
- Estimación global de la posibilidad de reutilización de los terrenos naturales obtenidos de la excavación de desmontes en la construcción de rellenos (terraplenes, pedraplenes, todounos y escolleras). Además, se deben definir los materiales de cada parte del relleno (cimientado, núcleo, espaldones y coronación), su geometría, así como los medios y procedimientos para su compactación.
- Delimitación de zonas homogéneas de suelos utilizables para la explanada.
- Evaluación de los materiales y yacimientos disponibles para las capas de firme.

Una vez definido el corredor de trazado, y con esta información, debe ser posible avanzar los siguientes datos del proyecto de las cimentaciones:

- Encaje en el trazado, selección del tipo estructural y predimensionamiento de estructuras y obras de fábrica necesarias (puentes, muros y obras de drenaje).
- Tipo de cimentación, superficial o profunda, en las obras de fábrica.
- Tipo de cimentación de los terraplenes y tratamiento previo del terreno. En su caso, en terrenos blandos, se recomienda determinar el espesor de los mismos con una precisión mínima del 20%.

5. TAREAS BÁSICAS PARA ELABORAR LOS ANEJOS DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Para la redacción de los anejos de Geología y Geotecnia (y los apartados de la Memoria descriptiva) se proponen cuatro tareas básicas:

- (1) Recopilación y estudio de información previa.
- (2) Trabajos de campo.
- (3) Obtención de parámetros geotécnicos.
- (4) Índice del anejo de Geología y Geotecnia, contenidos necesarios.

5.1 Recopilación y estudio de información previa

En esencia consiste en la búsqueda y consulta de documentación cartográfica y escrita que pudiera resultar de utilidad. Permite ordenar la información disponible al comienzo de los trabajos y plantear correctamente las demás tareas, según el tema del proyecto. Deben obtenerse de las siguientes fuentes:

- Cartografía topográfica de la zona: E. 1:10.000 o mayor [IGN (Instituto Geográfico Nacional): www.ign.es , Google Maps, GRAFCAN: <http://visor.grafcan.es/visorweb/>].
- Ortofotos disponibles [GRAFCAN: <http://visor.grafcan.es/visorweb/>, IGN].
- Modelos digitales del terreno (MDT) con visualizador [Google Earth].
- Mapas Geológicos (hojas y memorias): E. 1:25.000 ó 1:50.000 [IGME (Instituto Geológico y Minero de España): www.igme.es].
- Mapa Geotécnico de Canarias E. 1:25.000 [Gobierno de Canarias, GRAFCAN: <http://visor.grafcan.es/visorweb/>].
- Mapas, ortofotos y fotos antiguas, en su caso [GRAFCAN]: <http://visor.grafcan.es/visorweb/>, Memoria Digital de Canarias-ULPGC: <http://mdc.ulpgc.es/>].
- Información hidrológica (red y cuencas hidrográficas, caudales) e hidrogeológica (parámetros de las unidades hidrogeológicas, niveles freáticos) [Cabildos insulares, Consejos insulares de aguas: <http://www.aguasgrancanaria.com/>, <http://aguastenerife.org/>].
- Localización de yacimientos y canteras de interés.
- Información geológica y geotécnica de proyectos y obras próximas.

5.2 Trabajos de campo

Tienen como objetivo hacer un reconocimiento visual de la zona del proyecto, contrastar la información previa y hacer una descripción de los materiales geológicos que atraviesa la traza o que están presentes en el emplazamiento de la obra. Básicamente, hay que realizar tres tipos de tareas:

- a) Recorrer la traza o el emplazamiento del proyecto.
- b) Identificar las rocas y suelos.
- c) Identificar zonas problemáticas.

5.2.1 Recorrido de la traza

Consiste en seguir un itinerario “imaginario” por donde discurrirá o se emplazará el proyecto. Conviene hacerlo al menos en dos fases. En una primera fase se realiza un recorrido rápido “de situación”, buscando elementos de referencia en el terreno e identificándolos en un mapa, cuyo objetivo es ubicar el proyecto en el terreno, dentro de unos límites aproximados. Una segunda fase, más detenida, se destina a reconocer los elementos del territorio que intervendrán en el proyecto, ya sean construcciones, conducciones, servicios y zonas urbanas, así como elementos naturales (montes, barrancos, vegetación, etc.) que configuran el paisaje.

5.2.2 Identificación de rocas y suelos

Habitualmente consiste en un reconocimiento de la superficie del terreno, que se concentra en aquellos puntos o zonas de afloramiento donde el subsuelo queda expuesto. Como punto de partida, los mapas geológicos del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) dan información valiosa de los materiales geológicos principales de cada zona. Por ello, es muy conveniente hacer una lista de los materiales que figuran en el mapa y anotar una breve descripción a partir de los textos de la memoria de cada hoja geológica.

No obstante, hay un problema inevitable que proviene de la escala (1:25.000 ó 1:50.000) y que impide representar todos los materiales en un mapa geológico. Por ejemplo, un tramo de carretera de 500 m queda representado en tan sólo 2 cm de mapa a una escala 1:25.000. La experiencia dice que en 500 m los suelos y rocas suelen variar notablemente, en su tipo y estado, lo que repercute en su diferente comportamiento geotécnico. Por lo tanto: por un lado, es lógico que no haya una equivalencia exacta

entre el mapa geológico y el terreno y, por otro lado, la información que aporta el mapa geológico debe ser contrastada en el campo, adaptada a la escala de los planos de proyecto. Las escalas más usuales en Estudios previos e informativos son 1:10.000 y 1:5.000. En la práctica, se emplean escalas mayores (1:2.000 y 1:1.000) si se trata de fases del proyecto más avanzadas (de trazado o de construcción).

Además, la realización de mapas geológicos para proyectos es tarea propia de geólogos y requiere gran experiencia. Por ello, se propone un método de trabajo asequible al nivel de un TFT, con dos tareas: 1ª) Editar una porción del mapa geológico general, seleccionando la zona de terreno del proyecto con amplios márgenes, y adjuntar la escala gráfica, coordenadas y la leyenda geológica. 2ª) Hacer un reconocimiento específico de las rocas y suelos presentes en la zona.

En lo referente a las rocas, a medida que se vayan encontrando zonas expuestas (afloramientos) se irán describiendo los diferentes tipos de rocas y se les debe asignar un nombre (¹).

En cuanto a los suelos, son generalmente formaciones geológicas superficiales y deben distinguirse los suelos naturales (residuales o sedimentarios) (²) y los suelos artificiales o rellenos (³).

5.2.3 Identificación de zonas peligrosas

A lo largo de la traza o zona de proyecto deben identificarse:

- Zonas de taludes inestables, que están afectados por desprendimientos o deslizamientos de importancia.
- Zonas afectadas por erosión superficial intensa de escorrentía (concentrada o difusa), con arrastre y acumulación de sedimentos.
- Zonas con manantiales, surgencias de agua o nivel freático poco profundo.

¹ Los diferentes tipos de rocas pueden consultarse en manuales de Geología (Pozo Rodríguez, González Yelamos y Giner Robles, 2003: 47-82; López Marinas y Lomoschitz, 2013: 177-337). De forma sucinta, el CTE DB SE-Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006:114) incluye una clasificación de rocas en la Tabla D.4 y la Guía GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011:83-85) muestra una clasificación de los materiales volcánicos, en su apéndice 1.

² Los suelos residuales provienen de la alteración de las rocas y constituyen la cobertura de tierra vegetal. Los suelos sedimentarios son de origen diverso y forman depósitos aluviales (de ríos, arroyos o barrancos), costeros (de playas y acantilados), lacustres (de lagos), eólicos (de dunas) y glaciares (morrenas).

³ Los suelos artificiales (antrópicos) pueden ser: rellenos controlados (terraplenes, pedraplenes, escolleras, etc.) o rellenos no controlados (escombreras, vertidos de canteras o industriales, basureros, etc.). Conviene diferenciar unos de otros, pues los rellenos no controlados tienen un comportamiento geotécnico peligroso.

- Zonas proclives al estancamiento de aguas y zonas inundables en caso de lluvias intensas.
- Tramos de carretera con grietas o hundimientos importantes del firme actual.
- Obras de drenaje o estructuras con fallos visibles en la cimentación.
- Otras zonas problemáticas de interés.

Una vez detectadas, cada zona problemática debe: 1) situarse en un mapa; 2) ser descrita de forma sucinta; 3) fotografiarse; y 4) hacer una evaluación preliminar de la peligrosidad.

Como resultado de los trabajos de campo, como mínimo debe obtenerse:

- Una lista de las rocas presentes en la zona, con una breve descripción de cada tipo.
- Una lista de los suelos presentes en la zona, con una breve descripción de cada tipo.
- Una relación de los principales taludes con inestabilidades (preferiblemente una ficha con la información de cada talud).
- Una relación de otras zonas problemáticas, si las hubiera.

5.3 Obtención de parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos (Tabla 2) son necesarios principalmente para el cálculo de cimentaciones de las estructuras de un proyecto. Las más comunes son: edificaciones, puentes y obras de paso, estructuras de contención, obras de drenaje, conducciones hidráulicas, depósitos y silos.

Tabla 2. Parámetros geotécnicos básicos de suelos y rocas empleados para el cálculo de cimentaciones de estructuras y para Geotecnia vial.

	Suelos	Rocas
Cimientos de estructuras	Pesos específicos Cohesión Angulo de rozamiento interno Módulos de deformación Coeficiente de Poisson	Pesos específicos Resistencia a compresión simple Fracturación (RQD, RMR, Q) Módulo de Young
Geotecnia vial	Pesos específicos Cohesión Angulo de rozamiento interno Módulos de carga con placa CBR	Pesos específicos Resistencia a compresión simple Fracturación (RQD, RMR, Q) Módulo de Young

En un segundo grupo están otras de mayor complejidad: túneles y cavernas, embalses y presas, y las propias de obras portuarias. Además, la geotecnia vial (de carreteras y

ferrocarriles) utiliza parámetros del terreno de cimiento, de los taludes excavados y de los rellenos estructurales (terraplenes y pedraplenes).

Salvo excepciones, para un TFT es difícil realizar todos los ensayos geotécnicos que serían necesarios para obtener estos parámetros geotécnicos. Por ello, se suelen emplear parámetros orientativos provenientes de guías o manuales técnicos y que permiten hacer cálculos estimativos.

Salvo excepciones, para un TFT es difícil realizar todos los ensayos geotécnicos que serían necesarios para obtener estos parámetros geotécnicos. Por ello, se suelen emplear parámetros orientativos provenientes de guías o manuales técnicos y que permiten hacer cálculos estimativos.

Por ejemplo, pueden consultarse:

- Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003: 36-37), tablas 3.1 y 3.2.
- Código Técnico de la Edificación DB-SE-C Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006: 120-123), tablas D.23, D.24, D.26, D.27 y D.29.
- Guía GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011:86-95), apéndice 2: parámetros geotécnicos de los litotipos canarios.

5.4 Índice del anejo de Geología y Geotecnia, contenidos necesarios.

En los proyectos de carreteras es frecuente redactar dos ó tres anejos: I. Geología y procedencia de materiales; II. Geotecnia del corredor; III. Geotecnia de túneles y cimentaciones de estructuras. Sin embargo, para el alcance de un TFT se puede agrupar toda la información en un solo anejo de Geología y Geotecnia.

Aquí se propone un índice general, de carácter orientativo; pero, según las características del proyecto y de la información disponible, deberá modificarse convenientemente. Se enumeran a continuación una serie de apartados que formarían dicho índice junto con los contenidos necesarios.

5.4.1 Introducción

Consistirá en una breve descripción del proyecto y los objetivos del anejo.

5.4.2 Información previa

Consistirá en una descripción de los antecedentes e información preexistente: a) proyectos o estudios previos; b) documentación gráfica consultada: cartografía, fotos aéreas, mapas geológicos, etc.; c) informes geológicos o geotécnicos existentes; y d) referencias de obras próximas.

5.4.3 Contexto geológico general

La referencia al marco geológico siempre debe aparecer, aunque su extensión puede ser variable. Básicamente, debe incluir: formaciones geológicas principales; estratigrafía y edad de las rocas; y elementos tectónicos (fallas, pliegues y diques), si los hubiera.

5.4.4 Condiciones geomorfológicas e hidrológicas

Deben describirse los elementos principales del relieve que aparecen en el trazado o zona del proyecto (valles, barrancos, montes, playas, acantilados, etc.) y la red hidrográfica que afecta al mismo.

5.4.5 Condiciones geológico-geotécnicas e hidrogeológicas

A partir de los trabajos de campo, descritos con anterioridad, debe obtenerse una idea lo más clara posible de: a) los tipos de suelos y rocas que aparecerán en la traza o zona del proyecto; b) los puntos o zonas problemáticas de tipo geotécnico; c) las zonas con manantiales de agua o niveles freáticos poco profundos, si las hubiera; d) la estructura del subsuelo, que considere dos aspectos: la extensión y profundidad aproximada de los suelos, la sucesión de las capas rocosas y su espesor aproximado.

5.4.6 Descripción geotécnica del terreno

Una vez dividido el terreno en unidades litológicas (tipos de rocas y suelos) o estratigráficas (estratos o capas del subsuelo) se debe añadir una descripción geotécnica de cada tipo de terreno. Para los suelos, la descripción debe partir de los componentes principales (gravas, arenas, limos y arcillas) y de su proporción relativa, lo que permite su clasificación. A continuación, debe añadirse algún comentario sobre su comportamiento geotécnico previsible⁽⁴⁾.

En el caso de rocas, lo habitual es diferenciar entre rocas (duras) y rocas blandas (poco resistentes o alterables). También se debe aludir a la fracturación, según el índice

⁴ Por ejemplo: “es un suelo cohesivo porque tiene >35% de finos (ó >25% de arcillas)”;

“es un suelo de carácter granular porque sus partículas son visibles (arenas y/o gravas) y constituyen más del 65% del total”;

“el predominio de finos hace al suelo difícil de compactar y debe tener una baja permeabilidad y mal drenaje”;

“la granulometría del suelo hace a éste fácilmente/difícilmente compactable”, “el reducido contenido de finos confiere al suelo alta permeabilidad y buen drenaje”.

RQD (a partir de testigos de sondeos), o bien aproximada: fracturación escasa o baja, media, densa o alta.

A la lista de suelos y rocas, con su nombre más característico y su descripción, deben añadirse los parámetros geotécnicos que estén disponibles. Si se dispone de ensayos de laboratorio de esos mismos suelos, se deben adjuntar en tablas los resultados. En caso contrario, se pueden añadir parámetros geotécnicos orientativos, citando la fuente bibliográfica donde se obtuvieron.

A la descripción puede añadirse una estimación del grado de escalabilidad de cada roca o suelo, lo que permitirá definir el tipo de maquinaria necesario para su arranque.

También resulta conveniente proponer, para cada tipo de material (suelos y rocas), los ángulos de inclinación para los taludes de excavación y rellenos, para los taludes de alturas superiores a 3 m. Para grandes taludes (>9 m) es necesario diseñar geometrías con bermas o banquetas que mejoren su estabilidad y protección frente a desprendimientos.

5.4.7 Cálculos geotécnicos para las cimentaciones.

Abarcan dos aspectos: a) la resistencia a rotura del terreno, expresada por la presión de hundimiento (qh), y b) la deformabilidad del terreno, expresada por los asentos (S).

En primer lugar, es necesario calcular la presión de hundimiento (o presión de rotura) del terreno y la carga o presión admisible ($qadm$) que habitualmente es $qadm = qh/F$ ($F = 3$ ó 5 , factor de seguridad). La carga o presión de la estructura que llega a la cimentación no debe sobrepasar $qadm$.

Un error frecuente es considerar la $qadm$ un valor único para cada terreno. Sin embargo, las expresiones de la qh (Terzaghi, Brinch-Hansen, Terzaghi-Peck) y de la $qadm$, que depende de la anterior, están en función de las dimensiones del cimientto, que es necesario predimensionar. Para proceder al cálculo de la qh es necesario previamente dar unas dimensiones a la cimentación (B , ancho y L , largo), una profundidad de implantación del cimientto (D) y emplear los parámetros geotécnicos (c , cohesión; ϕ , ángulo de rozamiento interno y γ , peso específico) del suelo.

Y en segundo lugar, debe hacerse un cálculo de los asentos. Este puede ser más o menos complejo, pero siempre debe contar con una previsión razonable del comportamiento del suelo. En orden de importancia, se consideran tres tipos de terrenos:

- Suelos granulares: sus asentamientos son reducidos y rápidos, una vez aplicadas las cargas de la estructura (asentamientos “constructivos”). Se utiliza el método elástico en el cálculo (ver, por ej., Cálculo de asentamientos en: Muzás Labad, 2007:535-540). F. Muzás Labad. Mecánica del suelo y cimentaciones, Vol. II, Fundación Escuela de la Edificación, Madrid (2007).
- Suelos cohesivos: si están húmedos o saturados dan asentamientos elevados y que se prolongan en el tiempo (asentamientos “posconstructivos”). Específicamente se utiliza el método edométrico.
- Rocas: para las cargas de estructuras habituales sus asentamientos son muy reducidos y se consideran poco relevantes, siempre que se trate de rocas sanas y poco fracturadas. No requieren cálculo, salvo en el caso de túneles, presas o grandes estructuras.

5.4.8 Propuesta de estudio geotécnico para construcción

Por lo general, para elaborar un TFT no se dispone de medios materiales ni presupuesto para realizar un estudio geotécnico específico. Este necesitaría maquinaria de sondeos, ensayos in situ, ensayos de laboratorio, medios auxiliares y personal especializado.

Una alternativa razonable consiste en redactar una propuesta de estudio geotécnico, que sería necesario realizar antes de ejecutar la obra. Esta propuesta debe incluir una planificación de la campaña de reconocimientos de campo, indicando situación (en un mapa), profundidades a alcanzar y técnicas necesarias (sondeos mecánicos, calicatas, geofísica). También puede incluir un programa de muestreo y de ensayos de laboratorio y un presupuesto. El objeto del estudio geotécnico es determinar la estratigrafía del terreno (mediante perfiles geotécnicos) y los parámetros geotécnicos necesarios (mediante ensayos in situ y de laboratorio), principalmente en las zonas de apoyo de las estructuras.

Esta propuesta puede constituir un capítulo más del anejo de Geología y Geotecnia. Para su elaboración resulta útil el capítulo 3 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera (Ministerio de Fomento, 2003: 41-51, 59-68). En el caso de edificaciones, debe emplearse el capítulo 3 del CTE DB-SE-C Cimientos (Ministerio de Fomento, 2006:11-18) y el Anejo C Técnicas de prospección (pp. 109-111). Al final puede añadirse un presupuesto, con la designación de los trabajos, las unidades, los precios unitarios y totales. En los presupuestos de estudios geotécnicos es común considerar los

capítulos: I. Trabajos de campo; II. Ensayos de laboratorio; III. Preparación de accesos y plataformas de trabajo y IV. Otros servicios.

Los ocho apartados expuestos con anterioridad pueden constituir el índice del anejo de Geología y Geotecnia. Además deben añadirse planos, figuras y un reportaje fotográfico, con el fin de documentar gráficamente la información escrita. La tendencia actual es insertar algunas figuras y fotos entre los párrafos de texto y dejar los planos y el anejo fotográfico al final.

6. CONCLUSIONES

En este artículo se plantea la necesidad de elaborar adecuadamente los anejos de Geología y Geotecnia de los TFT de las titulaciones de Ingeniería Civil.

Se considera que el alcance (o nivel de desarrollo) que deben tener estos anejos, para un nivel de estudios de Grado, debe ser equivalente al de un Estudio previo (o incluso Estudio informativo) de los proyectos profesionales de ingeniería civil.

En esta ponencia se ha pretendido proporcionar una guía para tutores y estudiantes que resuelva la carencia existente. De la experiencia (docente y aplicada) se han propuesto cuatro tareas básicas y un índice-guía con ocho capítulos para la elaboración de un Anejo de Geología y Geotecnia. De las tareas básicas debe destacarse:

(1) La importancia de una adecuada recopilación de datos, de estudios previos fiables y la selección de fuentes de información contrastadas.

(2) En los trabajos de campo, es esencial: a) recorrer la traza o zona de proyecto, mediante itinerarios de campo, al menos en dos fases: una general y otra de detalle, por tramos; b) identificar bien los distintos materiales (suelos y rocas) y describirlos adecuadamente; y c) identificar los problemas geotécnicos que pudieran presentarse.

(3) En la obtención de parámetros geotécnicos deben diferenciarse los datos reales, provenientes de ensayos de laboratorio e in situ, para ese proyecto u obras cercanas; de los datos orientativos, que se obtienen de tablas publicadas o referencias técnicas fiables.

(4) El índice del anejo de Geología y Geotecnia que se propone consta de 8 capítulos: 1. Introducción; 2 Información previa; 3. Contexto geológico general; 4. Condiciones geomorfológicas e hidrológicas; 6. Descripción geotécnica del terreno; 7.

Cálculos geotécnicos para las cimentaciones; y 8) Propuesta de estudio geotécnico para construcción.

Por último, se pretende hacer partícipes a profesores y alumnos de ingeniería civil de estas ideas, de manera que con sucesivas mejoras, pueda constituir una guía metodológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR, UNE 157001-febrero 2002, Criterios generales para la elaboración de proyectos (2002).

Código Técnico de la Edificación DB SE-Cimientos, Ministerio de Fomento, (2006).

Guía de cimentaciones en obras de carretera, Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras, (2003).

Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias, GETCAN-011, Gobierno de Canarias, (2011).

LÓPEZ MARINAS, J.M., Lomoschitz, A., Geología aplicada a la ingeniería civil, Ed. El Duende, Madrid, (2013).

MUZÁS LABAD, F. Mecánica del suelo y cimentaciones, Vol. II, Fundación Escuela de la Edificación, Madrid (2007).

POZO RODRÍGUEZ, M., González Yelamos, J., Giner Robles, J., Geología Práctica: Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas, Pearson Educación, S.A., Madrid, (2003).

Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, (2007).

Real Decreto 861/2010, de 2 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, (2010).

ULPGC-EIIC, Reglamento para la Realización y Evaluación de Trabajos Fin de Título de la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la ULPGC (2013a).

ULPGC-EIIC, Guía Metodológica para el Trabajo de Fin de Título (2013b).